

***PROPUESTA PARA LA ELABORACION
DE TABLAS VOLUMETRICAS Y/O
FACTORES DE FORMA***

Documento Técnico 54 /1997

Mayo, 1997

TABLA DE CONTENIDO

			Página
SECCION	I	INTRODUCCION	I-1
SECCION	II	PRINCIPIOS GENERALES	II-1
SECCION	III	METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DE TABLAS VOLUMETRICAS Y/O FACTORES DE FORMA	III-1
		A. Toma de Datos	III-1
		B. Procesamiento de Datos e Instrumentos Estadísticos	III-2
		B1. Cálculos Preliminares	III-2
		B2. Factores de Forma	III-2
		B3. Funciones Volumétricas	III-4
SECCION	IV	EVALUACION DE LA BASE EXISTENTE DE DATOS EN EL PROYECTO BOLFOR	IV-1
SECCION	V	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	V-1
ANEXO 1		Formulario de Campo	

SECCION I

INTRODUCCION

El cálculo del volumen comercial de árboles en pie es un requisito básico de toda actividad forestal. La práctica requiere de un instrumento fácil, rápido y de exactitud suficiente para tal efecto. Los parámetros a medir deben ser de fácil levantamiento como el diámetro a la altura del pecho (DAP) y la altura comercial.

El instrumento normalmente aplicado que cumple con estos requisitos es la tabla volumétrica o un factor adecuado de forma.

En Bolivia hasta la fecha se utiliza un factor de forma de 0.65 (según Heinsdijk). La aplicación generalizada de este factor debe ser analizada y reemplazada si fuera necesario por procedimientos más adecuados.

El Proyecto BOLFOR mediante tesis actualmente está realizando estudios para la elaboración de tablas volumétricas y/o factores de forma.

El objetivo principal de este trabajo por lo tanto es revisar la información recopilado hasta la fecha y proponer un procedimiento adecuado para la ampliación de la base de datos y la derivación de tablas volumétricas y/o factores de forma.

SECCION II

PRINCIPIOS GENERALES

SECCION II

PRINCIPIOS GENERALES

El volumen del fuste comercial de un árbol está determinado por sus dimensiones (DAP y altura comercial) y, además, por su forma individual.

Si el fuste tuviera la forma de un cilindro su volumen comercial correspondería simplemente al producto del área basal (a la altura del pecho) y la altura comercial.

Como normalmente los fustes tienen cierta conicidad, difiriendo más o menos de la forma del cilindro, es necesario considerar la forma como un tercer parámetro de estimación.

Para definir la forma del fuste comercial normalmente se refiere al factor de forma, o sea, al cociente del volumen real y el volumen del cilindro de referencia (producto del área basal y la altura comercial).

El factor individual de forma varía con las dimensiones del fuste, con la especie y también difiere de árbol a árbol.

Para contrarrestar esta variabilidad hay que basarse en un número suficiente de árboles por especie de interés para poder calcular promedios del factor de forma estadísticamente confiables.

Una vez realizados los cálculos hay que analizar una posible agrupación de especies para reducir el número de factores a aplicarse en la práctica.

La misma base de datos utilizada para el cálculo de factores de forma también puede ser utilizada para la elaboración de tablas volumétricas. Estas normalmente se basan en funciones volumétricas con una variable dependiente (volumen comercial) y dos variables independientes (DAP y altura comercial).

Anteriormente se había dicho que la forma del fuste comercial varía con las dimensiones del mismo, con la especie y también difiere de árbol a árbol. La variación que se debe a las dimensiones del fuste en el caso de tablas volumétricas está explicada por las variables independientes (DAP y altura comercial) y sólo la variación de árbol a árbol queda como varianza residual.

Las funciones volumétricas deben ser derivadas para cada especie en forma individual y la posible agrupación de especies debe ser analizada en un paso posterior del estudio.

Basándose en las funciones volumétricas anteriormente mencionadas se puede calcular las correspondientes tablas volumétricas de dos entradas. Estas tablas también se llaman tablas estándar o tablas generales por su aplicación general.

Si se necesita un instrumento muy sencillo para calcular el volumen de cierto bosque puede basarse en funciones de solamente una entrada (normalmente el DAP). Las tablas así

calculadas se llaman tarifas o tablas locales y son como dice su nombre de aplicación netamente local.

SECCION III

**METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DE TABLAS VOLUMETRICAS
Y/O FACTORES DE FORMA**

SECCION III

METODOLOGIA PARA LA ELABORACION DE TABLAS VOLUMETRICAS Y/O FACTORES DE FORMA

A. Toma de Datos

Para elaborar tablas volumétricas o calcular factores de forma se necesita una muestra suficientemente grande por especie de interés.

Cada clase diamétrica entre 20 y 120 cm (utilizando clases de 20 cm de ancho) debe contener más o menos la misma cantidad de árboles y si esto, en las clases superiores no fuera posible, tiene que alcanzarse un mínimo de 10 árboles en estas clases.

La toma de datos puede ser realizada en árboles cortados o en árboles en pie utilizando un instrumento óptico en este caso (relascopio de Bitterlich).

De cada árbol muestra se necesita el DAP, la altura comercial y el volumen del fuste comercial. El DAP, que es el diámetro de referencia se mide a la altura del pecho (1.30m), desde el suelo o del lado más alto en caso de pendientes. Si hay deformaciones o aletones se mide encima de estos, anotando también la altura de medición en este caso.

La altura comercial es el largo del fuste desde el tocón hasta la primera bifurcación o si no hubiera bifurcación hasta un diámetro límite de 20 cm. En el caso de árboles en pie la altura del tocón está definido como 30 cm.

Para poder calcular el volumen del fuste comercial éste debe ser dividido en secciones del mismo largo (2m). Empezando con la primera sección (que se encuentra al lado del tocón) se mide los diámetros al principio y al final de cada sección hasta llegar a la última sección, cuyo largo también hay que anotar si fuera diferente del estándar establecido.

La medición del DAP y de los diámetros de cada sección, en el caso de árboles cortados, debe ser realizada con el mismo instrumento (forcípula o cinta). En el caso de forcípula es recomendable basarse en dos mediciones en forma de cruz (diferenciándose por un ángulo de 90°).

Si las mediciones se realizan en árboles en pie hay que utilizar un instrumento óptico para la medición de los diámetros de secciones.

Utilizando el relascopio de Bitterlich éste debe ser colocado de forma estable (utilizando trípode) a una distancia fija del árbol (se recomienda 10 m). Empezando en 2.30 m de altura se realiza una medición del diámetro cada 2 m hasta llegar al final del fuste comercial. En este punto, adicionalmente al diámetro también hay que medir la altura comercial.

Las escalas móviles del relascopio permiten una corrección de pendiente, apretando el botón correspondiente. Una vez que se hayan estabilizado las escalas se realiza la lectura en la

línea horizontal del relascopeo. Para medir el diámetro se cuenta el número de fajas anchas y delgadas, que coinciden con el grosor del fuste. En el caso de 10 m de distancia cada faja ancha corresponde a 20 cm de ancho y cada faja delgada a 5 cm. En este caso la medición del diámetro puede realizarse con una precisión de media faja delgada (2.5 cm).

Para determinar la altura comercial y las alturas predefinidas para la medición de diámetros (2.30 m, 4.30 m, 6.30 m etc.) se utiliza la escala de inclinación en porcentajes.

El DAP y el diámetro en la altura del tocón (30 cm) en el caso de mediciones de árboles en pie se miden con forcípula. Para la toma de datos se puede utilizar un formulario como el que se muestra en el Anexo 1.

B. Procesamiento de Datos e Instrumentos Estadísticos

B1. Cálculos Preliminares

El cálculo de factores de forma y/o tablas volumétricas como anteriormente indicado está basado en el DAP, la altura comercial y el volumen comercial de cada árbol muestreado.

El DAP forma parte de los datos de levantamiento. La altura comercial se obtiene sumando los valores del largo de cada sección que normalmente es de 2 m. Solamente en el caso de la última sección puede diferir de este valor.

El volumen comercial se obtiene sumando el volumen de cada sección, el cual se calcula con la fórmula de Smalian:

$$v = l \frac{\pi (d_1^2 + d_2^2)}{4}$$

donde

v = volumen de la sección

l = largo de la sección

d₁ = diámetro inferior de la sección

d₂ = diámetro superior de la sección

B2. Factores de Forma

Una vez calculados los valores del volumen comercial se calcula el factor de forma como cociente del volumen total de todos los fustes y el volumen total de los cilindros de referencia:

$$f = \frac{\sum V_f}{\sum V_c}$$

donde

f = media ponderada del factor de forma
 V_f = volumen comercial individual de cada fuste
 V_c = volumen correspondiente a cada cilindro de referencia

Esta fórmula corresponde a una media ponderada del factor de forma y está derivado de la fórmula general de la media ponderada:

$$\bar{x} = \frac{\sum wx}{\sum w}$$

donde

x = valor individual de la muestra
 w = factor de ponderación

Cada valor individual x de la muestra en nuestro caso corresponde al factor individual de forma de un árbol muestreado ($x = V_f/V_c$).

Utilizando el volumen del cilindro de referencia (V_c) como factor de ponderación se obtiene la fórmula anteriormente mencionada para el cálculo del factor de forma (f). Es recomendable utilizar la media ponderada para dar más peso a los fustes de mayor dimensión.

El error admisible que corresponde a la media ponderada se calcula según la fórmula:

$$E = t \sqrt{\frac{\sum w(x - \bar{x})^2}{(n-1)\sum w}}$$

donde

E = error admisible
 x = valor individual de la muestra
 \bar{x} = media ponderada
 w = factor de ponderación
 t = valor de Student

El error admisible en porcentajes de la media, preferentemente no debería sobrepasar de 1% a un nivel de confianza de 99%. Si se quiere reemplazar el valor tradicional del factor de forma de 0.65 hay que tener bastante certeza estadística. Admitiendo por ejemplo un 10% de error, un valor calculado de 0.70 estaría dentro del ámbito de error.

Una vez calculado el factor de forma para cada especie de interés hay que analizar la

posible agrupación de especies sobre la base de criterios estadísticos y prácticos. El instrumento estadístico para tal efecto es el análisis de varianza que permite probar si las medias de las diferentes especies pertenecen a la misma población o no.

B3. Funciones Volumétricas

El volumen del fuste comercial, calculado según el procedimiento indicado anteriormente, puede ser representado en función del DAP y de la altura comercial. Varios tipos de funciones (logarítmicas y no logarítmicas) han sido propuestas para este fin, como por ejemplo:

Meyer:

$$v = a_0 + a_1d + a_2dh + a_3d^2 + a_4d^2h$$

Schumacher - Hall:

$$v = ad^b h^c$$
$$\ln v = a_1 + b \ln d + c \ln h$$

Spurr:

$$v = a (d^2h)^b$$
$$\ln v = a_1 + b \ln d^2h$$

Instituto de Investigación Forestal de Baden-Württemberg:

$$\ln v = a_0 + a_1 \ln d + a_2 \ln^2 d + a_3 \ln h + a_4 \ln^2 h$$

donde:

v = volumen del fuste comercial
d = diámetro de referencia (DAP)
h = altura comercial
a₀, a₁, = coeficientes de la función

Para derivar estas funciones con los datos de una muestra se utiliza regresiones múltiples basadas en el método de los mínimos cuadrados.

Hay programas de computación (por ejemplo hojas electrónicas) que permiten calcular los coeficientes de las funciones y por otro lado, el coeficiente de correlación y el error estándar de la estimación, que son medidas de la bondad de la regresión.

El error estándar de la estimación corresponde a la desviación estándar de la media aritmética y nos da una medida de la dispersión de los datos con referencia a la función de ajuste. El coeficiente de correlación (raíz del cociente de la varianza explicado por el modelo y la varianza total) es el mejor indicador del ajuste de los datos a la función calculada.

En el caso de funciones logarítmicas los indicadores mencionados deben ser calculados en valores reales para ser comparables con otros modelos no logarítmicos.

Todos estos indicadores nos pueden ayudar en la selección del mejor modelo de ajuste. Además, hay que realizar un análisis de residuos en forma gráfica y numérica, para determinar el modelo menos sesgado.

No hay que aplicar estos instrumentos en forma mecanizada. El mejor criterio siempre será el sentido común y buen juicio del investigador.

A pesar de la metodología bien desarrollada de la regresión hay que mencionar algunos puntos críticos que pueden afectar su aplicación:

En primer lugar siempre hay que ser consciente, que las funciones de regresión solamente son aplicables dentro del ámbito determinado por los datos de la muestra (en nuestro caso por los valores máximos y mínimos del DAP y de la altura comercial).

Los árboles de valores extremos (o sea, los árboles de diámetros y alturas muy pequeñas o muy grandes) tienen una gran influencia en el ajuste, por lo cual es muy importante fijar un número mínimo de árboles en las clases extremas del DAP y de la altura comercial.

Si pretendemos aplicar métodos de la estadística de inferencia, por ejemplo para estimar errores de los coeficientes de regresión, ciertos requisitos estadísticos deben ser cumplidos. Uno de ellos es la varianza constante de los residuos u homoscedasticidad. Este requisito en nuestro caso no se cumple porque la dispersión de los puntos normalmente aumenta con las dimensiones del árbol lo que demuestran todos los gráficos de los residuos.

SECCION IV

**EVALUACION DE LA BASE EXISTENTE DE
DATOS EN EL PROYECTO BOLFOR**

SECCION IV

EVALUACION DE LA BASE EXISTENTE DE DATOS EN EL PROYECTO BOLFOR

La base existente de datos es resultado del trabajo de tres estudiantes tesistas, que realizaron estudios en Lomerío, en la Reserva Forestal Choré y en Postrervalle (Bosque experimental de la UAGRM) respectivamente.

Del primer estudio, que ya ha sido entregado oficialmente, no existe la última versión de los datos. El archivo disponible contenía todavía errores en cuanto al largo y volumen del fuste comercial. Estos errores han sido detectados y corregidos en un chequeo exhaustivo de los datos.

Los tres estudios abarcan especies de tres diferentes zonas ecológicas correspondientes al bosque seco y de transición de la Chiquitanía, al bosque húmedo tropical y subtropical de la Reserva Forestal Choré y al bosque montano de Postrervalle.

Cuadro 1: Resultados estadísticos sobre la base de los datos actualmente disponibles

Lugar Especie	Tamaño de la muestra	Factor promedio de forma	Error admisible (%)	Tamaño de la muestra (E=1%)	E. admisible (%) (n=250)
Lomerío					
cedro	58	0.76	5.00	1428	2.39
cuchi	147	0.71	2.90	1225	2.22
roble	35	0.78	4.31	634	1.59
sirari	72	0.79	4.72	1580	2.52
tajibo	194	0.77	2.67	1376	2.35
tarara	81	0.84	3.71	1101	2.10
total	587	0.76			
Choré					
almendrillo	183	0.82	1.80	593	1.54
ochoó	116	0.84	1.64	311	1.12
yesquero	91	0.83	2.51	569	1.51
total	390	0.83			
Postrervalle					
pino negro	221	0.92	1.70	639	1.60
pino blanco	178	0.95	2.09	777	1.77
total	399	0.93			

El primer estudio se refiere a las especies cedro (*Cedrela fissilis*), cuchi (*Astronium urundeuva*), roble (*Amburana cearensis*), sirari (*Peltogyne* sp.), tajibo (*Tabebuia* sp.) y tarara amarilla (*Centrolobium microchaete*), y cuenta con un total de 587 árboles.

El estudio del Choré se basa en las especies: almendrillo (*Dipterix odorata*), ochoó (*Hura crepitans*) y yesquero (*Cariniana* sp.), con un total de 390 árboles. Lo interesante de este estudio es la aplicación del relascopio en el levantamiento de una parte de los datos.

El tercer estudio está dedicado a las especies pino blanco (*Prumnopitys* sp.) y pino negro (*Podocarpus parlatorei*) y cuenta con un total de 399 árboles.

El Cuadro No. 1 muestra el número de árboles, la media ponderada del factor de forma y el error admisible en porcentajes (a un nivel de confianza de 99 %) para cada especie levantada. También presenta un promedio global del factor de forma para cada zona estudiada.

Como se puede ver, hay una diferencia notable entre los promedios globales de cada estudio que corresponden a valores de 0.76, 0.83 y 0.93 respectivamente.

El valor del tercer estudio parece ser excepcional por la forma extraordinaria de los pinos de esta zona que presentaban fustes muy cortos con una tendencia de ensancharse nuevamente en cierta altura antes de bifurcarse en las ramas de la copa.

La variación entre las especies es relativamente pequeña en el segundo y tercer estudio con valores de 0.82 a 0.84 y 0.92 a 0.95 respectivamente. En el primer estudio esta variación es mayor abarcando valores entre 0.71 y 0.84.

De acuerdo con eso el análisis de varianza resultó en diferencias significativas para el primer estudio y no significativas para los otros dos estudios.

A pesar de las diferencias entre especies en el caso del primer estudio, por razones de practicabilidad no es recomendable trabajar con un factor diferente de forma para cada especie, además; la base de datos a la fecha no es apta para decisiones definitivas.

Urge la ampliación de la base de datos en cuanto al número de especies y al número de árboles por especie. Cada zona ecológica de interés debe contar con todas las especies de cierta importancia económica.

El Cuadro No. 1 muestra que los valores del error admisible por especie especialmente en el primer estudio son bastante altos (llegando al 5% en el caso del cedro).

Para estimar el tamaño necesario de la muestra se calculó el número requerido de árboles de cada especie para alcanzar un error admisible de 1% (a un nivel de confianza de 99%). Estos valores en el caso del primer estudio son muy altos (hasta 1500 árboles) y en la práctica no son realizables. Por lo tanto se calculó también el error admisible que corresponde a una muestra de 250 árboles por especie.

Como se puede observar en el Cuadro No. 1, con 250 árboles levantados el error admisible es inferior al 2% para todas las especies del segundo y tercer estudio, acercándose al 1.5%. En el caso del primer estudio por lo menos se alcanza errores inferiores al 2.5% (a excepción de una especie).

SECCION V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

SECCION V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La meta de obtener tablas volumétricas y/o factores de forma para las zonas ecológicas de mayor interés implica una base de datos, que abarca todas las especies de cierta importancia comercial y un número suficiente de árboles por especie.

Por aspectos prácticos, es deseable agrupar las especies, a fin de que cada zona ecológica cuente solamente con un factor de forma y una función volumétrica correspondiente. Posteriormente, con una base de datos suficientemente grande se podría analizar también la posible unión de diferentes zonas ecológicas.

Basándose en el análisis estadístico realizado se recomienda complementar la base existente de datos para alcanzar un mínimo de 250 árboles por especie levantada. Por otro lado urge aumentar el número de especies levantadas para obtener un promedio representativo de cada zona ecológica.

Se recomienda combinar estos estudios con los inventarios forestales a realizarse para minimizar los costos del levantamiento.

Se aconseja levantar los datos con profesionales, que tengan suficiente experiencia en la toma de datos de este tipo, formando por lo menos dos grupos de levantamiento.

Es necesario adquirir relascopios con escalas métricas incluyendo trípodes para poder realizar mediciones de árboles en pie.

En las zonas de apeo las mediciones pueden ser realizadas en árboles cortados. Las clases diamétricas, que no cuentan con un suficiente número de árboles requieren de un levantamiento adicional de árboles en pie, utilizando el método óptico anteriormente descrito (relascopio). Este método también permite medir los árboles que por sus dimensiones normalmente no son cortados.

El método óptico, como se ha podido comprobar en el segundo estudio mencionado, es un método de rápido avance y tiene una exactitud comparable al método tradicional. La condición para su exitosa aplicación es contar con personal experimentado y bien entrenado en este tipo de levantamiento.

En cuanto a los datos ya existentes se recomienda la revisión de los archivos basándose en los formularios originales de campo antes de incluirlos a la base final de datos.

Una vez terminado el levantamiento de datos se pueden derivar factores de forma y/o tablas volumétricas sobre la base de funciones de regresión.

Las funciones por su complejidad implican el peligro de aplicaciones erróneas en la práctica. Los factores de forma por otro lado son de probada aplicabilidad y un instrumento bien

conocido en la práctica forestal de Bolivia. Por lo tanto, se recomienda derivar factores de forma para la práctica y funciones de regresión para aplicaciones específicas (por ejemplo de carácter de investigación).

En el caso de levantamientos interinstitucionales, es imprescindible la centralización del procesamiento de datos y de la interpretación estadística para alcanzar un nivel suficiente de estandarización.